

反射式气动传感器的误差研究^{*}

采号 赵前程 邓善熙 (合肥工业大学 检测技术研究所 合肥 230009)

摘要 由于反射式气动传感器测量原理不同于传统的背压式气动传感器,从而能够使其量程大幅度提高。对他的误差进行分析,找出影响其精度的因素,使气动传感器具有更大的实用性,从而更好地应用于机械制造和其他行业。

关键词 气动测量 传感器 误差分析

The Research of Error for Reflect Pneumatic Sensor

Ding Xinghao Zhao Qiancheng Deng Shanxi (Hefei University of Technology)

Abstract Owing to measuring principle is different from traditional pneumatic sensor, reflect pneumatic sensor can greatly improve measurement range. This paper analyses its error which influence measuring precision, enables the pneumatic sensor to become more practically. So it can be greatly applied in the mechanical manufacturing and other industry.

Key words Pneumatic measurement Sensor Error analyse

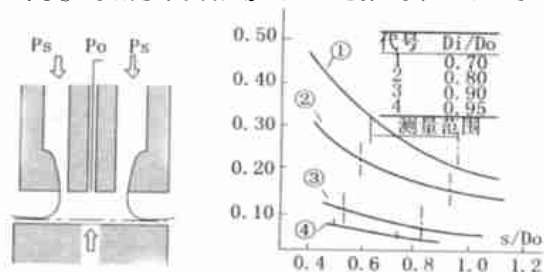
1 引言

气动测量是一种非接触测量,与其他非接触测量方法相比它具有自洁功能,不受工件表面材质的影响,能在较恶劣的工业环境中使用等优点,因而广泛应用于机械工业生产现场和其他行业。但是传统的气动量仪多为背压式,虽然精度较高,但量程较小,一般为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$,很难满足要求量程较大场合,限制了气动量仪的应用范围。为此有必要研制量程较大,同时又具有较高精度的气动传感器。合肥工大精仪系研制了一种测量原理不同于背压式气动传感器的反射式气动传感器,其量程可达到 5mm ,从而为气动量仪的更广泛应用提供了可能。在该传感器中我们将气动测量头和压阻式压力传感器结合,组合成气动测量传感器,从而实现气动测量的自动化和智能化。

2 工作原理

气动测量方法是以压缩空气作为介质,利用空气在管道中的流量或压力随喷嘴与被测工件之间的气隙的不同而改变的特性,将尺寸量或位移量转换成流量或压力的变化量,从而实现测量。

反射式气动传感器的工作原理如图1所示。气源经滤清稳压后压力为 P_s ,经直径为 D_p 的主喷嘴流入主气室,经环形气隙向外喷射,环形气隙的外径为 D_o ,内径为 D_i 。当传感器前方有物体进入其测量范围的时候,反射进入测量气室的气体的压力随着传感器与物体距离 s 的减小而增大。经理论推导和一定的近似简



^{*} 机械工业部技术发展基金项目(97JA0203)资助项目。

化可以得到该传感器的测量特性方程:

$$\frac{P_0}{P_s} = \frac{(1 - D_i^2/D_0^2)}{2[\frac{s}{D_0} - \frac{(1 - D_i^2/D_0^2)}{4C_2}]} \ln C_2$$

其特性曲线如图2所示。

3 实验研究

实验中,分别改变反射式气动传感器的结构参数(D_0 , D_i)和气动参数(P_s),确定其测量特性曲线(即输出电压 U 与测量距离 s 的关系)。

我们从大量的组合实验数据中选择稳定性和精度都较高的一组数据作图,如图3所示。由图可知,这种反射式气动传感器的实际测量特性与理论分析结果是吻合的。

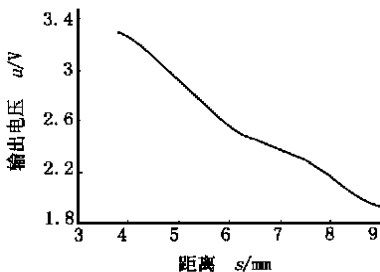


图3

4 实验误差分析与处理

气动量仪由于是相对测量、静态特性的非线性、气路及气动变换部分的波动性等因素,不可避免地要产生误差。为了提高系统的测量精度,有必要对主要误差进行分析和处理。

(1) 非线性误差 Δ_1

从理论特性曲线和实验曲线我们都可以看出测量特性的非线性特征,在对测量系统的测量特性进行线性处理时不可避免地产生非线性误差,这项误差与选取的线性范围有关。例如我们取线性范围为5mm,编程进行回归分析,找到线性最好的5mm段所得回归直线方程为:

$$U(s) = 4.2270 - 2.645s$$

经简单计算,最大非线性误差 $\Delta_s = 0.3478\text{mm}$

若我们取线性范围为4mm时,以同样的方法得回归直线方程为:

$$U(s) = 4.344 - 2.872s$$

最大非线性误差 $\Delta_s = 0.2987\text{mm}$

同样,取线性范围为3mm时,所得回归直线方程为:

$$U(s) = 3.8203 - 2.091s$$

最大非线性误差 $\Delta_s = 0.1505\text{mm}$

而当取线性范围为1mm时,所得回归直线方程为:

$$U(s) = 4.5986 - 0.3348s$$

最大非线性误差 $\Delta_s = 0.0178\text{mm}$

可见,最大非线性误差的大小与所取的线性范围密切相关,线性范围越小最大非线性误差就越小。

由此,我们自然想到可以用几段折线来代替一条直线的办法来减小非线性误差,具体实施时,因为实验点数不能太少,我们选取每一段折线长度不小于1mm,可以通过软件编程的办法来寻找最佳的折线段组合,从而实现非线性误差的补偿。

通过上述方法进行非线性误差的修正,我们可以得到当线性范围取5mm时:最大非线性误差 $\Delta_s = 0.0460\text{mm}$ 。由此可见,这种通过用分段折线代替一条直线的方法,能够很好地减小非线性误差。

(2) 重复性误差 Δ_2

由于气压、电压波动,环境温度、震动等偶然误差,使传感器产生随机误差。随机误差大小可用重复测量同一尺寸时的重复性误差表示。利用传感器对同一被测量进行35次测量,得到35个数据 u_i , $i = 1, 2, \dots, 35$,由贝塞尔公式:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{35} (u_i - \bar{u})^2}{35-1}}}{\sqrt{35}} \quad \text{其中} \quad \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{35} u_i}{35}$$

计算表明本传感器的重复性误差

$$\Delta_2 = 2\sigma = 0.0128\text{mm}$$

(3) 标定误差 Δ_3

气动测量是一种比较测量,即首先用标准件标定气动测量系统的零位和实际灵敏度,然后在测量工件时,气动测量系统只反映被测工件对标准件的尺寸(位移)偏差量。因此标准件的精度直接影响测量的精度。当选用精度很高的标准时,此项误差可以忽略。

(4) 测量温度误差 Δ_4

温度对测量系统影响最大的元件是压阻式压力变送器。由于我们采用的是MPM 420型可编程控压阻式压力变送器,它本身带有温度补偿电路,其精度很高,温度对其影响不大,可以不计。

5 结束语

综上所述,反射式气动传感器的量程较大,影响其测量精度的误差因素很多,对精度影响较大的是非线性

(下转第36页)

(1) 当 $\omega T = \pi/2 + n\pi$, n 为整数, 即 $T = (1/4 + n/2) \cdot T_0$ 时, 则 $h = (-1)^n \cdot \omega/2$, 由 $H_0(\omega)$ 得滤除偶次谐波的滤波器:

$$H_2(\omega) = (-1)^n \cdot \frac{\sin(\omega T/2)}{\omega/2} - (2h_2T - 1) \cdot 2\pi \cdot \delta(\omega)$$

(2) 当 k 为奇数, $k\omega T = n\pi$, n 为非 0 整数且不为 k 的整数倍, 即 $T = n \cdot T_0/(2k)$ 时,

则 $h = \frac{\omega}{2 \cdot \sin(n\pi/k)}$, 由 $H_0(\omega)$ 得滤除 k 次谐波的滤波器:

$$H_k(\omega) = \frac{\omega}{\sin(n\pi/k)} \cdot \frac{\sin(\omega T/k)}{\omega} - (2h_kT - 1) \cdot 2\pi\delta(\omega)$$

(3) 当要求滤除所有偶次谐波和 3、5、...、直至 k 次谐波时, 将 $H_2(\omega)$ 、 $H_3(\omega)$ 、 $H_5(\omega)$ 、...、 $H_k(\omega)$ 级联, 得到滤除单频正弦曲线谐波失真的滤波器 $H(\omega)$:

$$H(\omega) = H_2(\omega) \cdot H_3(\omega) \cdot H_5(\omega) \cdot \dots \cdot H_k(\omega) \quad (13)$$

$H(\omega)$ 就是本文所述的单频正弦曲线谐波及噪声失真滤波器的通用表达式, 理论上, 它可以滤除全部偶次谐波和直至 k 次的奇次谐波。

5 仿真试验结论

仿真表明: 本文所述数字滤波器, 对正弦波序列参数评价有显著作用。滤波后的波形, 信噪比 N/S 可下降 1 个数量级以上; 频率拟合误差 $\Delta\omega/\omega$ 和相位拟合误差 $\Delta\varphi$ 均有显著改善; 幅度拟合误差 $\Delta A/A_0$ 与直流偏移拟合误差 $\Delta d/A_0$ 则有所上升, 主要因为数字滤波器是通过数字抽样序列实现的, 滤波步长 T 与信号周

期 T_0 的关系经过离散取样后产生误差造成了该影响, 降低该影响的手段之一是增加每周期含有的取样点数。滤波与否, 对于总失真度 DZ 的评价没有明显影响; 另外可以看出, 低次谐波失真对拟合参数的影响要高于高次谐波的影响。

6 结束语

综上所述可见, 本文所述方法和过程, 可实现正弦波形的幅度、频率、相位、直流分量和总失真度的精确评价, 评价误差与不确定度均可有效控制和估计, 尤其对于正弦波频率的精确评价, 没有抽样量化造成的计点误差, 是一个较大进步; 所述的单频数字滤波器, 对于频率、相位评价均有明显的改善作用。在诸如低频、超低频正弦电压、压力、振动、位移等波形参量的精确测量中, 具有很好的应用前景。

参考文献

- 1 IEEE Std 1057-1994, IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders.
- 2 JJF 1057-1998 数字存储示波器. 中华人民共和国国家计量技术规范. 北京: 中国计量出版社, 1998.
- 3 John P. Deyst, T. Michael Soulders, and Otis M. Solomon Jr., Bounds on Least-Squares Four-Parameter Sine-Fit Errors Due to Harmonic Distortion and Noise. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1995, 44(3): 637 ~ 642.
- 4 Liang Zhiguo, Zhu Jijie. A Digital Filter for the Single Frequency Sinusoid Series. Transaction of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 1999, 16(2): 14 ~ 16.

(上接第 33 页)

性误差和重复性误差, 其中的非线性误差是系统误差, 我们可以通过软件的办法加以减小, 而重复性误差是随机误差可以多次测量取平均的方法加以减小。我们利用各种的减小误差方法, 使该传感器在量程为 5mm 时, 其精度可以达到 0.05mm, 基本上满足了一般测量的要求, 从而使气动测量更大范围地应用于机械制造和其他行业。

参考文献

- 1 丁兴号, 邓善熙, 赵前程. 大尺寸反射式传感器的研究. 第一届国际机械工程学术会议. 2000, 11.
- 2 费叶泰. 误差理论与数据处理. 机械工业出版社, 2000, 5.
- 3 刘玉初. 气动量仪. 机械工业出版社, 1991.
- 4 杜青. 中小量程气动测量的特性研究. 硕士论文. 2000, 3.
- 5 张培强. MATLAB 语言. 中国科学技术大学出版社, 1995.